

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
11. März 2004 (11.03.2004)

PCT

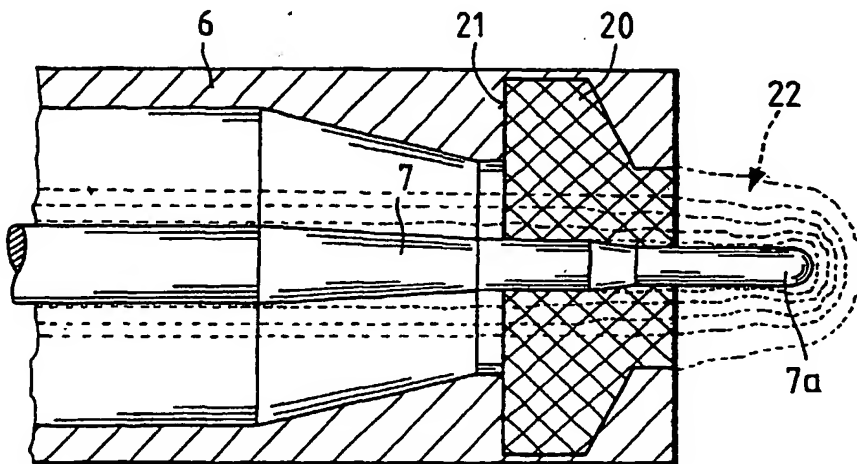
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/020820 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **F02P 23/04**
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE2003/002828**
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
25. August 2003 (25.08.2003)
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 39 410.5 28. August 2002 (28.08.2002) **DE**
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02  
20, 70442 Stuttgart (DE).**
- (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHMIDT, Ewald  
[DE/DE]; Bachstrasse 10, 71634 Ludwigsburg (DE).  
THIEL, Michael [DE/DE]; Am Schlauchengraben 25,  
71229 Leonberg (DE). HASCH, Juergen [DE/DE];  
Noellenstrasse 17 B, 70195 Stuttgart (DE). RUOSS,  
Hans-Oliver [DE/DE]; Dachswaldweg 178, 70569  
Stuttgart (DE). LINKENHEIL, Klaus [DE/DE];  
Asangstrasse 192, 70329 Stuttgart (DE).**
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH;  
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).**
- (81) Bestimmungsstaaten (national): **JP, US.**
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): **europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **DEVICE FOR IGNITING AN AIR-FUEL-MIXTURE IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE BY MEANS OF  
A HIGH FREQUENCY ELECTRIC ENERGY SOURCE**

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG ZUM ZÜNDEN EINES LUFT-KRAFTSTOFF-GEMISCHS IN EINEM VERBREN-  
NUNGSMOTOR MITTELS EINER HOCHFREQUENTEN ELEKTRISCHEN ENERGIEQUELLE**



(57) Abstract: The invention relates to a device for igniting an air-fuel-mixture in an internal combustion engine by means of a high frequency electric energy source. Said device comprises a coaxial waveguide structure (5) into which the high frequency electric energy can be injected and which projects with an end thereof into the respective combustion chamber of a cylinder of the internal combustion engine. One end of the coaxial waveguide structure (5) is embodied as an igniter pin (7a) such that when a voltage potential occurs as a result of rapid and/or gradual cross-section modifications (21) of the inner (7) and/or outer conductor (6), a field structure (22) protruding into the internal combustion chamber and a free-standing plasma in the air-fuel-mixture can be produced on the inner conductor (7, 7a) protruding from the waveguide structure.

and/or outer conductor (6), a field structure (22) protruding into the internal combustion chamber and a free-standing plasma in the air-fuel-mixture can be produced on the inner conductor (7, 7a) protruding from the waveguide structure.

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer hochfrequenten elektrischen Energiequelle vorgeschlagen, die eine coaxialen Wellenleiterstruktur (5) aufweist, in die die hochfrequente elektrische Energie einkoppelbar ist und die mit einem Ende in den jeweiligen Brennraum eines Zylinders des Verbrennungsmotors hineinragt. Das eine Ende der coaxialen Wellenleiterstruktur (5) ist als Zündstift (7a) so ausgebildet, dass bei einem anstehenden Spannungspotential durch sprunghafte und/oder gleitende Querschnittsänderung (21) des Innen-(7) und/oder Aussenleiters (6) eine in den Brennraum hineinragende Feldstruktur (22) und damit ein freistehendes Plasma im Luft-Kraftstoff-Gemisch an dem aus der Wellenleiterstruktur herausragenden Innenleiter (7,7a) erzeugbar ist.



**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

VORRICHTUNG ZUM ZÜNDEN EINES LUFT-KRAFTSTOFF-GEMISCHS IN EINEM VERBRENNUNGSMOTOR  
MITTELS EINER HOCHFREQUENTEN ELEKTRISCHEN ENERGIEQUELLE

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer hochfrequenten Energiequelle nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Die Zündung eines solchen Luft-Kraftstoff-Gemischs mit Hilfe einer sogenannten Zündkerze stellt einen üblichen Bestandteil von Verbrennungsmotoren für Kraftfahrzeuge dar. Bei diesen heute eingesetzten Zündsystemen wird die Zündkerze induktiv mittels einer Zündspule mit einer genügend hohen elektrischen Spannung versorgt, so dass sich ein Zündfunke am Ende der Zündkerze im Brennraum des Verbrennungsmotors herausbildet um die Verbrennung des Luft-Kraftstoff-Gemischs einzuleiten.

Beim Betrieb dieser herkömmlichen Zündkerze können Spannungen bis über dreißig Kilovolt auftreten, wobei durch den Verbrennungsprozess Rückstände, wie Ruß, Öl oder Kohle sowie Asche aus Kraftstoff und Öl auftreten, die unter

bestimmten thermischen Bedingungen elektrisch leitend sind. Es dürfen jedoch bei diesen hohen Spannungen keine Über- oder Durchschläge am Isolator der Zündkerze auftreten, so dass der elektrische Widerstand des Isolators auch bei den auftretenden hohen Temperaturen während der Lebensdauer der Zündkerze sich nicht verändern sollte.

Es ist beispielsweise aus der DE 198 52 652 A1 eine Zündvorrichtung bekannt, bei der die Zündung eines solchen Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges unter Verwendung eines koaxialen Leitungsresonators vorgenommen wird. Hierbei wird die Zündspule durch eine genügend starke Mikrowellenquelle, z.B. eine Kombination aus einem Hochfrequenzgenerator und einem Verstärker, ersetzt. Mit einem geometrisch optimierten koaxialen Leitungsresonator stellt sich dann die für die Zündung erforderliche Feldstärke am offenen Ende des kerzenähnlichen Leitungsresonators ein und zwischen den Elektroden der Kerze bildet sich mit dem Spannungsüberschlag eine zündfähige Plasmastrecke heraus.

Eine solche Hochfrequenzzündung ist auch in dem Aufsatz "SAE-Paper 970071, Investigation of a Radio Frequency Plasma Ignitor for Possible Internal Combustion Engine Use" beschrieben. Auch bei dieser Hochfrequenz- bzw. Mikrowellenzündung wird ohne eine übliche Zündspule eine Hochspannung mittels einer niederohmigen Einspeisung am sogenannten heißen Ende einer  $\lambda/4$ -Leitung eines HF-Leitungsresonators erzeugt.

#### Vorteile der Erfindung

Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer hochfrequenten elektrischen Energiequelle,

mit einer koaxialen Wellenleiterstruktur, in die die hochfrequente elektrische Energie einkoppelbar ist und die mit einem Ende in den jeweiligen Brennraum eines Zylinders des Verbrennungsmotors hineinragt, wobei an diesem Ende durch ein hohes Spannungspotential ein Mikrowellenplasma erzeugbar ist. In vorteilhafter Weise ist gemäß der Erfindung das eine Ende der koaxialen Wellenleiterstruktur so ausgebildet, dass bei einem anstehenden Spannungspotential durch eine in den Brennraum hineinragende Feldstruktur ein freistehendes Plasma im Luft-Kraftstoff-Gemisch zwischen dem aus der Wellenleiterstruktur einen vorgegebenen Betrag herausragenden Innenleiter und dem Außenleiter der Wellenleiterstruktur erzeugbar ist. In dieser um das Ende des herausragenden Innenleiters herum freistehenden Plasmawolke, findet kein Überschlag zwischen den Elektroden statt, so dass auch kein Ionenstrom fließt.

Die koaxiale Wellenleiterstruktur ist dabei so ausgebildet, dass sich für eine vorgegebene effektive Wellenlänge  $\lambda_{\text{eff}}$  der eingekoppelten hochfrequenten Schwingung ein Leitungsresonator in etwa nach der Beziehung  $(2n+1) \cdot \lambda_{\text{eff}}/4$  mit  $n \geq 0$  ergibt und die hochfrequente Schwingung beispielsweise durch eine kapazitive, induktive, gemischte oder eine Aperturkopplung eingekoppelt wird. Die effektive Wellenlänge  $\lambda_{\text{eff}}$  wird dabei im wesentlichen durch die Formgebung des Endes des herausragenden Innenleiters, durch die Abdichtung des Dielektrikums bzw. durch die Formgebung des gesamten Leitungsresonators bestimmt.

Bei der erfindungsgemäßen Ausführungsform stellt sich die für die Zündung im Brennraum erforderliche Feldstärke damit am offenen Ende des in seiner Form weitgehend zündkerzenähnlichen Resonators ein. Die wesentlichen Vorteile einer solchen Hochfrequenzzündkerze gegenüber der herkömmlichen Verwendung einer Zündkerze sind vor allem eine

Kosten- und Gewichtseinsparung durch die Möglichkeit zur Miniaturisierung. Die bei der vorgeschlagenen Vorrichtung erreichte weitgehende Wärmewertfreiheit ermöglicht zudem eine Reduzierung der Typenvielfalt und damit ebenfalls eine Kosteneinsparung.

Dadurch, dass hier auf einfache Weise bevorzugt im Oszillator, eventuell aber auch an sonstigen Bereichen des koaxialen Wellenleiters, ein elektrisches Mess- oder Steuersignal auskoppelbar ist, das von den physikalischen Größen des freistehenden Plasma im Luft-Kraftstoff-Gemisch abhängig ist, wird prinzipiell eine Einstellbarkeit der Flammgröße ermöglicht, womit ein vergrößertes Zündvolumen im Vergleich zur herkömmlichen Zündkerze und eine gute Einleitung der Flammfront in den Brennraum erreichbar ist. Dies führt zu einer Erhöhung der Zündsicherheit insbesondere bei Magergemischmotoren und bei einer Benzin-Direkt-Einspritzung.

Ferner sind zusätzliche Freiheitsgrade durch die Steuerbarkeit der Brenndauer aufgrund der Möglichkeit der Ableitung auskoppelbarer Steuersignale vorhanden. Das ausgekoppelte elektrische Signal ist in einer Auswerteschaltung weiterverarbeitbar, mit der z.B. eine Diagnose der Anordnung, eine Regelung der hochfrequenten Energiequelle und/oder eine Steuerung vorgegebener Betriebsfunktionen bewirkbar ist. Diese Steuerbarkeit aufgrund der Möglichkeit der Verbrennungsdiagnostik und damit der Optimierung der Motorsteuerung führt zu einem geringeren Verschleiß der als Zündelektroden wirkenden Strukturen und es ist außerdem auch ein gesteuertes Abbrennen von Verunreinigungen, z.B. von Ruß, möglich.

Wenn der koaxiale Resonator als Zylinder mit über der Länge konstantem, kreisförmigen Querschnitt realisiert wird, so entsteht durch eine herkömmliche Abdichtung des offenen Endes des Resonators bzw. der Abtrennung des Vo-

lumens des Resonators vom Brennraum, in Abhängigkeit vom Material und der geometrischen Gestaltung, insbesondere der Dicke der Abdichtung, eine deutliche Feldverzerrung bzw. Feldabschwächung am einen Ende an der Spitze des Innenleiters und eine Erhöhung des Leistungsbedarfs zum Erreichen der erforderlichen Zündfeldstärke.

Erfindungsgemäß wird in vorteilhafter Weise durch eine geeignete Variierung des Querschnitts des koaxialen Resonators der Leistungsbedarf deutlich gegenüber einem Resonator mit über der Länge konstantem, kreisförmigen Querschnitt gesenkt, d.h. eventuell sogar unter das Niveau eines Resonators ohne Abdichtung.

Hierzu enthält vorzugsweise das eine Ende der koaxialen Wellenleiterstruktur im Brennraum eine Abdichtung aus dielektrischem Material zwischen dem Außenleiter und dem koaxialen Innenleiter, die derart mit mindestens einer in axialer Richtung sprunghaften und/oder gleitenden Querschnittsänderung versehen ist, dass sich eine optimale Feldstruktur ergibt, die die Entstehung des freistehenden Plasmas nach dem Hauptanspruch ermöglicht. Das Plasma wird hierbei nur an einer Elektrode, d.h. am Ende des herausragenden Innenleiters, als freistehende Wolke ausgebildet und es bildet sich, wie zuvor erwähnt, keine nachteilige Funkenstrecke zwischen zwei Elektroden heraus..

Insbesondere kann vorteilhaft die Abdichtung in einer Ausnehmung des Außenleiters angebracht werden, die eine zum einen Ende hin sprunghafte Querschnittsvergrößerung aufweist. Im Bereich des einen Endes können darüber hinaus in vorteilhafter Weise die innere Kontur des Außenleiters und die äußere Kontur des Innenleiters in vorgegebenen Bereichen in ihrem Querschnitt korrespondierend verändert werden.

Die wesentlichen Vorteile dieser erfindungsgemäßen Anordnung sind eine optimale Abtrennung des Volumens des Resonators zum Brennraum, ggf. mit gleichzeitiger dichtender Wirkung, und eine Reduzierung der zur Zündung notwendigen HF-Leistung. Das erfinderische Konzept ist dabei vorteilhaft geeignet für eine nachträgliche Integration in bereits existierende Verbrennungsmotoren.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform ist es möglich, dass eine kompakte Zündeinheit dadurch gebildet werden kann, dass in einem gemeinsamen Gehäuse eine freischwingende Oszillatorschaltung und der koaxiale Wellenleiter angeordnet wird, wobei der freischwingenden Oszillatorschaltung auch eine Verstärkerschaltung nachgeschaltet werden kann. Die freischwingende Oszillatorschaltung und/oder die nachgeschaltete Verstärkerschaltung werden bevorzugt als eine integrierte Halbleiterschaltung mit SiC oder GaN Bauelementen aufgebaut.

Die wesentlichen Vorteile eines solchen kompakten Aufbaus einer Hochfrequenz-Zündeinheit sind insbesondere die Möglichkeit einer Reduzierung der Baugröße, z.B. von einer Gewindegröße M14 auf M10 und die damit erreichbare Kosten- und Gewichtseinsparung, da die eigentliche Kerze und die Zündspule eingespart wird. Herkömmliche Zündkerzen können aus physikalischen Gründen nicht in dem Maße verkleinert werden, dass hiermit neue kleinbauende Zünd- und Ventilsysteme an einem, insbesondere auch hochverdichtenden Verbrennungsmotor realisiert werden können. Auch ist ein besseres EMV-Verhalten bei der Integration dieser Bauelemente in die koaxiale Geometrie der Vorrichtung erreichbar.

Insbesondere auch in Kombination mit der oben erwähnten Steuerbarkeit des Zündverhaltens durch die Verarbeitung eines auskoppelbaren Signals können der Zündzeitpunkt und die Zünddauer auf einfache Weise variabel eingestellt



werden. Das freistehende Plasma kann insbesondere durch eine Beeinflussung der Flammgröße, wie oben erwähnt, positiv beeinflusst werden, wodurch eine Erhöhung der Zündsicherheit bei Magergemischen und bei einer Benzin-Direkt-Einspritzung (BDE) erreicht ist.

Beim Aufbau von Oszillatorschaltung für die beschriebenen Anwendungen ist zu berücksichtigen, dass diese nicht nur auf einen einzigen Betriebszustand auszulegen sind, sondern es können mindestens zwei grundlegende Betriebszustände, nämlich der ungezündete und der gezündete Zustand, auftreten. Weiterhin kann auch der Übergangsbereich zwischen diesen Zuständen und zusätzliche Einflussparameter wie Temperatur, Rußbelegung sowie weitere Betriebsparameter sich nachhaltig auf das Resonanz- und Impedanzverhalten des HF-Resonators auswirken. Dies hat bei herkömmlichen Aufbauten häufig zur Folge, dass nur noch ein Bruchteil der zur Verfügung stehenden Leistung in den Resonator eingekoppelt wird. Der restliche Anteil wird reflektiert und belastet oder zerstört unter Umständen das verwendete Leistungshalbleiterbauelement in der Oszillatorschaltung; ggf. kann auch eine Zündung komplett verhindert werden.

Erfindungsgemäß kann durch eine geeignete, kompakt aufgebaute frei schwingende Oszillatorschaltung in jedem Betriebszustand auf einfache Weise gewährleistet werden, dass ein ausreichender Anteil verfügbarer HF-Leistung in den Resonator eingekoppelt wird. Zum Aufbau des erfindungsgemäßen Oszillators in unmittelbarer Motornähe ist dabei der Einsatz neuer hochtemperaturtauglicher Halbleitertechnologien, z.B. SiC oder GaN, besonders vorteilhaft, da sich diese durch ein gutes Frequenzverhalten  $f_T$ , auch bei hohen Temperaturen, z.B. > 200°C, durch eine hohe Leistungsdichte und eine hohe Integrationsdichte auszeichnen.

### Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine prinzipielle Ansicht einer Vorrichtung zum hochfrequenten Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mit einer koaxialen Wellenleiterstruktur als Resonator,

Figur 2 eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des in den Brennraum des Verbrennungsmotors hineinragenden Endes des Resonators mit einer Ansicht der Feldlinien des in den Brennraum des Verbrennungsmotors hineinragenden Endes des Resonators und

Figur 3 ein Blockschaltbild einer Zündeinheit mit einem freischwingenden Oszillator, einem Resonator und einer Einkopplung der hochfrequenten Schwingungen in den Resonator.

### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In Figur 1 ist eine Prinzipansicht einer Vorrichtung zum hochfrequenten Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor gezeigt, die Bestandteile einer sogenannten Hochfrequenzzündkerze 1 aufweist. Es sind hier im einzelnen ein HF-Generator 2 und ein eventuell auch verzichtbarer Verstärker 3 vorhanden, die als Mikrowellenquelle die hochfrequenten Schwingungen erzeugen. Schematisch ist hier eine induktive Einkopplung 4 der hochfrequenten Schwingungen in eine als  $\lambda_{eff}/4$ -Resonator 5 aufgebaute koaxiale Wellenleiterstruktur als wesentlicher Bestandteil der Hochfrequenzzündkerze 1 gezeigt.

Der koaxiale Resonator 5 besteht aus einem Außenleiter 6 und einem Innenleiter 7, wobei das eine sogenannte offene oder heiße Ende 8 des Resonators 5 mit dem Innenleiter 7, hier als gegenüber dem Außenleiter 6 isolierten Zündstift 7a, die Zündung bewirkt. Für die hochfrequenten Schwingungen stellt das andere sogenannte kalte brennraumferne Ende 9 des Resonators 5 einen Kurzschluss dar. Das Dielektrikum 10 zwischen dem Außenleiter 6 und einem Innenleiter 7 besteht im wesentlichen aus Luft oder aus einem geeigneten nichtleitenden Material. Lediglich zur Abdichtung des offenen Endes 8 des Resonators 5 zum Brennraum ist eine Dichtung 11 vorhanden. Die Dichtung 11 besteht auch aus einem nichtleitendem Material, das den Temperaturen im Brennraum standhält, z.B. Keramik. Dabei bestimmen die dielektrischen Eigenschaften des Füllmaterials 10 bzw. der Abdichtung 11 mit die Abmessungen des Resonators 5.

Bei dieser Hochfrequenzzündkerze 1 wird das Prinzip der Feldüberhöhung in einem koaxialen Resonator 5 der Länge  $(2n+1) * \lambda_{eff}/4$  mit  $n \geq 0$  genutzt. Das durch eine genügend starke Mikrowellenquelle als Generator 2 und eventuell dem Verstärker 3 erzeugte hochfrequente Signal wird durch die Einkopplung 4, z.B. induktiv, kapazitiv, aus beiden gemischt oder durch eine Aperturkopplung in den Resonator 5 eingespeist. Durch die Ausbildung eines Spannungsknotens am Kurzschluss 9 und eines Spannungsbauchs am einen offenen Ende 8 ergibt sich hier am Zündstift 7a eine Feldüberhöhung, die zu dem in der Beschreibungseinleitung erwähnten freistehenden Plasma führt.

Die wesentlichen Bestandteile der Erfindung sind aus Figur 2 zu entnehmen. Zur Kompensation des durch die Abdichtung 11 nach der Figur 1 des offenen Endes 8 verursachten Effekts einer Feldverzerrung bzw. Feldabschwächung an der Spitze des Innenleiters 7 bzw. Zündstift 7a

wird der Querschnitt einer Dichtung 20 nach der Figur 2 im Bereich des offenen Endes 8 des Resonators 5 variiert. Diese erfolgt z.B. durch Querschnittssprünge 21 bzw. auch durch gleitende Formgebungen, Taperung oder dergleichen. Beispielsweise können die innere Kontur des Außenleiters 6 und die äußere Kontur des Innenleiters 7, 7a in vorgegebenen Bereichen in ihrem Querschnitt korrespondierend verändert sein.

Die Bestimmung der geometrischen Abmessungen des einen Endes 8 des Resonators 5 im Detail hängt dabei von den System- und Materialparametern der gesamten Vorrichtung ab. In der Figur 2 sind zusätzlich noch Feldlinien 22 angedeutet, die zeigen sollen, wie eine optimale geometrische Gestaltung der Abdichtung 20 zu einer Feldlinienverteilung führt, die ein freistehendes Plasma gemäß der Erfindung optimal ermöglicht.

Aus Figur 3 sind prinzipielle Bestandteile einer Hochfrequenzzündereinheit 30 als Blockschaltbild zu entnehmen. Diese enthält im einzelnen eine HF-Zündereinheit 31, wie sie anhand der Figuren 1 und 2 beschrieben worden ist. Weiterhin ist ein frequenzbestimmender, freischwinger Oszillator 32 unter Verwendung von Leistungstransistoren auf der Basis von hochtemperaturtauglichen HF-Halbleitertechnologien, z.B. hochtemperaturtaugliche SiC oder GaN Bauelemente, und eine Einkopplung 33 für die HF-Schwingungen des Oszillators 32 in die Zündvorrichtung 31 vorhanden. Betriebsbedingte Schwankungen in der Frequenz können dabei durch einen geeigneten, an sich bekannten Aufbau des Oszillator 32 berücksichtigt werden.

Patentansprüche

1) Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer hochfrequenten elektrischen Energiequelle, mit

- einer koaxialen Wellenleiterstruktur (5), in die die hochfrequente elektrische Energie einkoppelbar ist und die mit einem Ende in den jeweiligen Brennraum eines Zylinders des Verbrennungsmotors hineinragt, wobei an diesem Ende durch ein hohes Spannungspotential ein Mikrowellenplasma erzeugbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass
- das eine Ende der koaxialen Wellenleiterstruktur (5) als Zündstift (7a) so ausgebildet ist, dass bei einem anstehenden Spannungspotential durch eine in den Brennraum hineinragende Feldstruktur (22) ein freistehendes Plasma im Luft-Kraftstoff-Gemisch an dem aus der Wellenleiterstruktur einen vorgegebenen Betrag herausragenden Innenleiter (7,7a) der Wellenleiterstruktur (5) erzeugbar ist.

2) Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- die koaxialen Wellenleiterstruktur (5) so ausgebildet ist, dass sich für eine vorgegeben effektive Wellenlänge ( $\lambda_{eff}$ ) der eingekoppelten hochfrequenten Schwingung ein Leitungsresonator in etwa nach der Beziehung  $(2n+1) \cdot \lambda_{eff}/4$  mit  $n \geq 0$  ergibt und dass die hochfrequente Schwingung durch eine kapazitive, induktive, gemischte oder eine Aperturkopplung einkoppelbar ist.

3) Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- das eine Ende der koaxialen Wellenleiterstruktur (5) im Brennraum eine Abdichtung (20) aus dielektrischem Material zwischen dem Außenleiter (6) und dem koaxialen Innenleiter (7) enthält, die derart mit mindestens einer in axialer Richtung sprunghaften und/oder gleitenden Querschnittsänderung (21) versehen ist, dass sich eine optimale Feldstruktur (22) zur Erzeugung eines freistehenden Plasmas ergibt.

4) Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Abdichtung (20) in einer Ausnehmung des Außenleiters (6) angebracht ist, die eine zum einen Ende hin sprunghafte Querschnittsvergrößerung (21) aufweist.

5) Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass

- im Bereich des einen Endes der Wellenleiterstruktur (5) die innere Kontur des Außenleiters (6) und die äußere Kontur des Innenleiters (7) in vorgegebenen Bereichen in ihrem Querschnitt korrespondierend gleitend und/oder sprunghaft verändert sind.

6) Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- am Oszillator (2;32) oder am koaxialen Wellenleiter (5) ein elektrisches Signal auskoppelbar ist, das von den physikalischen Größen des freistehenden Plasmas im Luft-Kraftstoff-Gemisch abhängig ist.

7) Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass

- das ausgekoppelte elektrische Signal in einer Auswerteschaltung weiterverarbeitbar ist, mit der eine Diagnose der Vorrichtung, eine Regelung der hochfrequenten Energiequelle und/oder eine Steuerung vorgegebener Betriebsfunktionen bewirkbar ist.

8) Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine kompakte Zündeinheit (30) gebildet ist, die in einem gemeinsamen Gehäuse eine freischwingende Oszillatorschaltung (32), weitere Bauelemente (31,33) und den koaxialen Wellenleiter (5) aufweist.

9) Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass

- der freischwingenden Oszillatorschaltung (2;32) eine Verstärkerschaltung (3) nachgeschaltet ist.

10) Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass

- die freischwingende Oszillatorschaltung (2;32) und/oder die nachgeschaltete Verstärkerschaltung (3) als eine integrierte Halbleiterschaltung mit SiC oder GaN Bauelementen aufgebaut ist.



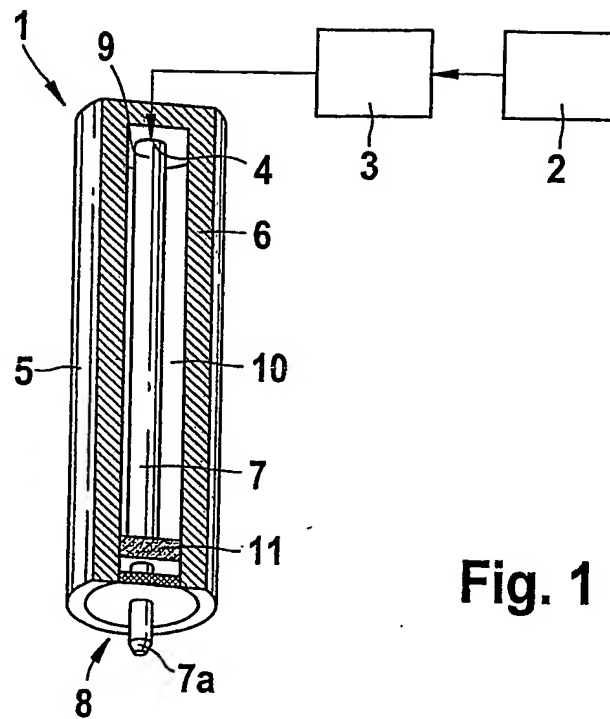


Fig. 1

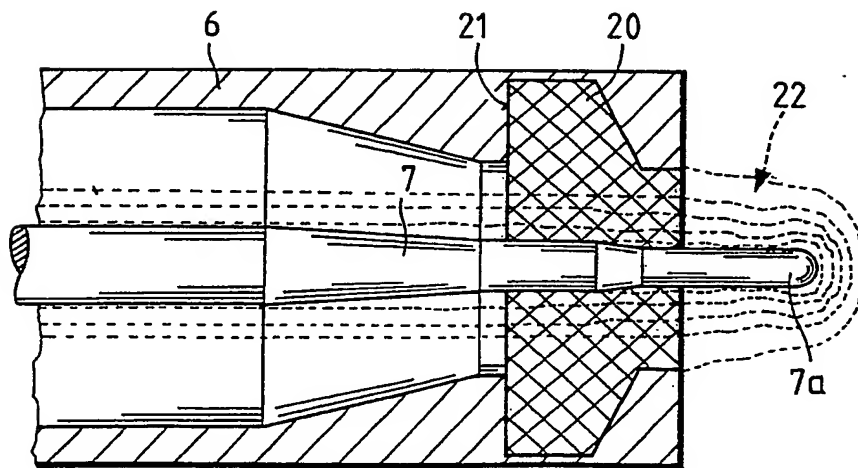


Fig. 2

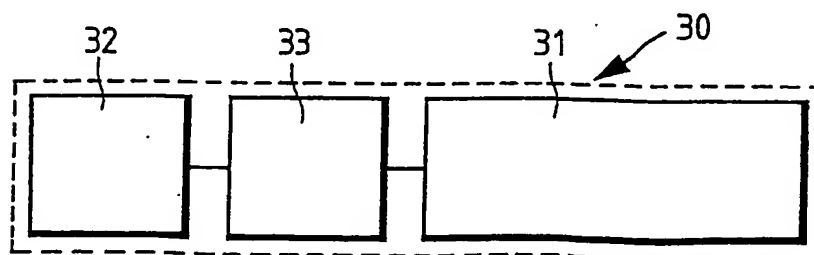


Fig. 3